

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

В.О. Ткачов, І.М. Чуб

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

самостійного вивчення дисципліни

«МАСОПЕРЕДАЧА»

та виконання розрахунково-графічної роботи

(для студентів 3-4 курсів денної і заочної форм навчання освітньо –
кваліфікаційного рівня бакалавр, напрямів підготовки 0926 “Водні ресурси”,
6.060103 “Гідротехніка (Водні ресурси)” спеціальності 6.092600
“Водопостачання та водовідведення”)

Харків - ХНАМГ- 2009

Методичні вказівки самостійного вивчення дисципліни «Масопередача» та виконання розрахунково-графічної роботи (для студентів 3-4 курсів денної і заочної форм навчання освітньо – кваліфікаційного рівня бакалавр, напрямів підготовки 0926 “Водні ресурси”, 6.060103 “Гідротехніка (Водні ресурси)” спеціальності 6.092600 “Водопостачання та водовідведення”)./Укл.: Ткачов В.О., Чуб І.М. - Харків: ХНАМГ, 2009. - 39 с.

Укладачі: В.О.Ткачов,
І.М. Чуб.

Рецензент: докт. техн. наук, проф. С.С. Душкін

Рекомендовано кафедрою “Водопостачання,
водовідведення та очищення вод”,
протокол №1 від 02.09.2008р.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Метою розрахунково-графічної роботи є закріплення теоретичних знань, отриманих при вивченні дисципліни “Масопередача”.

Виконуючи розрахунково-графічну роботу, студент одержує навички розрахунку дози активованого вугілля для різних адсорбційних установок, вчиться складати рівняння матеріального балансу, використовувати ізотерму та робочу лінії для графічного розрахунку різних процесів адсорбції.

Розрахунково-графічну роботу виконують на підставі індивідуального завдання, що включає характеристику стічних вод, які поступають на очистку (початкова концентрація забруднень), концентрацію забруднень у воді після очищення, коефіцієнт розподілу, що характеризує адсорбент.

Робота містить розрахункову і графічну частини. У розрахунковій частині складають рівняння матеріального балансу, за допомогою яких обчислюють дозу адсорбенту для різних схем очищення води (прямий потік, перехресний потік і потік фаз, що рухаються одна проти одної). Виконують наступні розділи: визначення дози АВ для установок з рухом води і вугілля у прямому напрямку; визначення дози АВ для установок з рухом води і вугілля у перехресному напрямку; визначення дози АВ для установок, в яких вода і вугілля рухаються у протилежних напрямках; порівняння доз АВ для різних адсорбційних установок.

У графічній частині будують ізотерми й робочі лінії для одно-, дво-, три – ступеневих схем адсорбції за різними принципами руху води та вугілля.

У методичних вказівках наведено також теми для самостійного вивчення дисципліни.

Завдання на РГР міститься у додатку А, завдання на контрольну роботу – у додатку Б цих вказівок.

Розрахунково-графічна робота

1. Побудова лінії рівноваги

Розглянемо приклад з наступними вихідними даними:

1. Початкова концентрація забруднюючих речовин у воді $C_0=200, \text{мг/дм}^3$.
2. Кінцева концентрація забруднюючих речовин у воді $C_k=7, \text{мг/дм}^3$.
3. Коефіцієнт розподілу $K=0,77$.

Розрахунок будь-якої схеми адсорбційного очищення починають з побудови лінії рівноваги (ізотерми адсорбції) $a = f(C)$. Вона показує залежність концентрації речовини між фазами в рівноважних умовах. Знаючи закон розподілу концентрації речовини, що поглинається, між сорбентом і рідиною, можна визначити коефіцієнт $K = \frac{a}{C}$ розподілу і рівняння ізотерми, якщо вона прямолінійна:

$$a = K \cdot C \quad (1.1)$$

Знаючи рівноважну концентрацію органічних речовин в очищеній воді C_k , визначаємо рівноважну концентрацію у активованому вугіллі:

- графічно (за ізотермом) – $a_k = 5.39 \text{ мг/г}$, (рис. 1.1);
- розрахунковим способом – $a_k = 0.77 \cdot 7 = 5.39 \text{ мг/г}$.

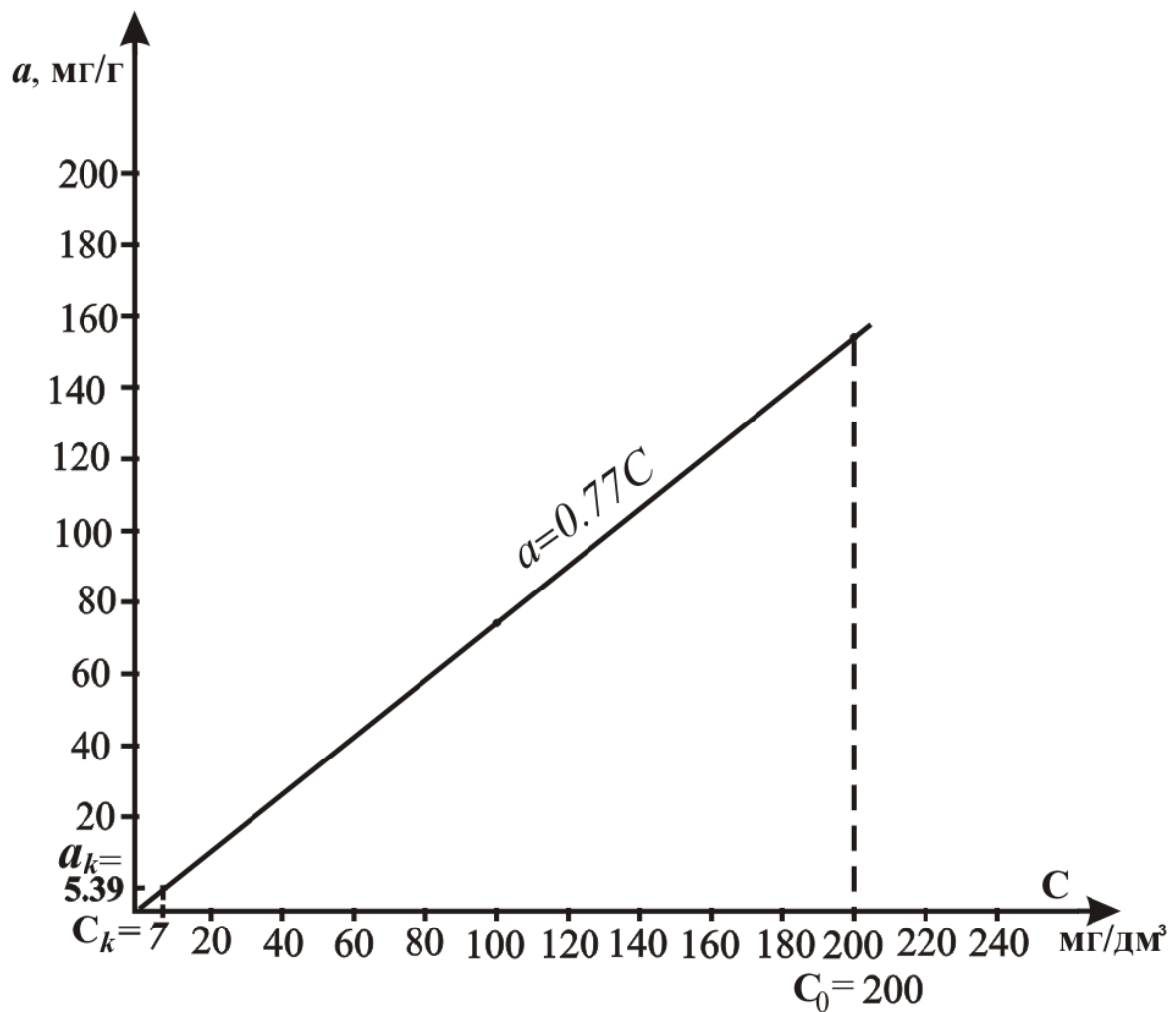


Рис. 1.1 – Лінія рівноваги (ізотерма)

2. Принципові схеми взаємодії води і адсорбенту

Залежно від напрямку відносного руху фаз ці схеми можна класифікувати в такий спосіб:

- 1) прямоточні;
- 2) з перехресним рухом;
- 3) протиточні (схеми, за якими вода і адсорбент рухаються у протилежних напрямках).

2.1 Принципова схема проточної одноступеневої установки

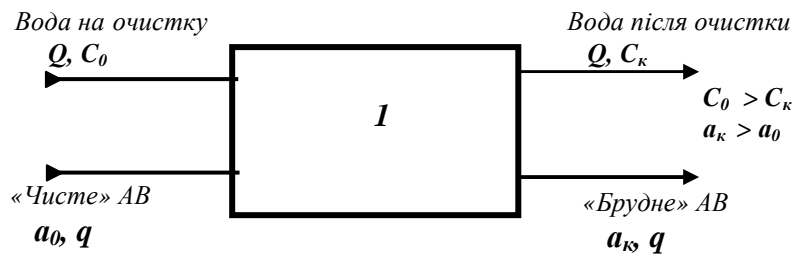


Рис. 2.1 – Одноступенева проточна установка

Q, q – витрати відповідно води і адсорбенту, $\text{м}^3/\text{год}$, $\text{кг}/\text{год}$;

C_0, a_0 – початкова (вихідна) концентрації компонента, що вилучається, у воді й АВ, $\text{мг}/\text{дм}^3$, $\text{мг}/\text{г}$;

C_κ, a_κ – кінцеві концентрації речовини, що вилучається, у воді й АВ, $\text{мг}/\text{дм}^3$, $\text{мг}/\text{г}$.

2.2 Принципова схема двоступеневої установки з перехресним рухом фаз

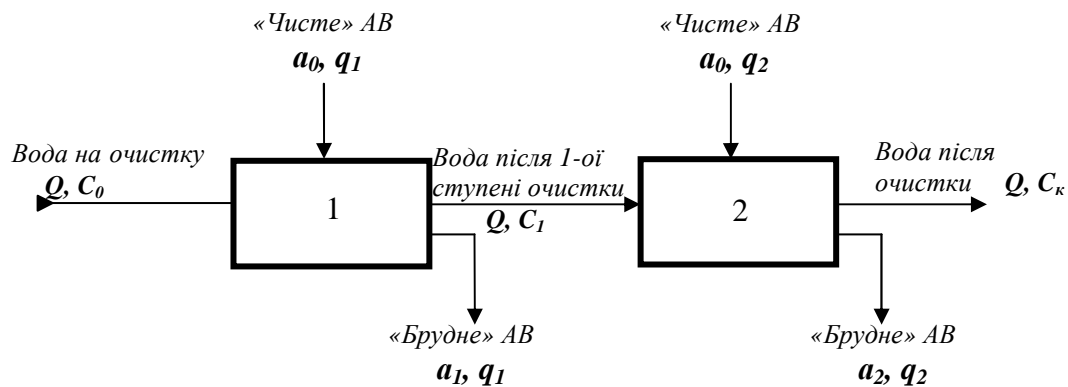


Рис. 2.2 – Двоступенева установка з перехресним рухом фаз:
 q_1, q_2 – витрати адсорбенту на першому і другому ступені;

$C_0 > C_1 > C_\kappa \text{ мг}/\text{дм}^3$, при цьому витрата води Q , $\text{м}^3/\text{ч}$, не змінюється (постійна);

$a_1 > a_2 > a_0 \text{ мг}/\text{г}$.

Сумарна витрата адсорбенту:

$$q_{\text{пер.}} = q_1 + q_2, \text{ кг/год.}$$

2.3 Принципова схема двоступеневої установки з рухом води і вугілля у протилежних напрямках

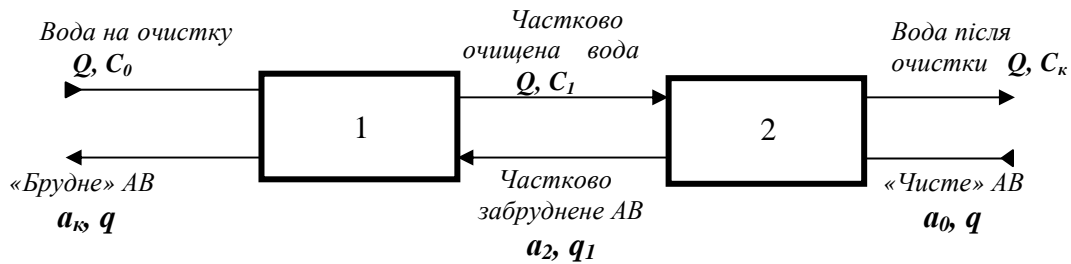


Рис. 2.3 – Двоступенева установка з рухом води і вугілля у протилежних напрямках :

1 - перший ступінь очищення; 2 - другий ступінь очищення

$C_0 > C_1 > C_k$ мг/дм³, при цьому витрата води Q , м³/год, не змінюється;

$a_k > a_2 > a_0$ мг/г, при цьому витрата адсорбенту q не змінюється, кг/год.

3. Визначення дози АВ для сорбційних установок з прямим рухом вугілля і води

У таких умовах взаємодіючі фази рухаються в одному напрямку, і по шляху їхнього руху відбувається адсорбція. Концентрація органічних (забруднюючих) речовин у воді буде зменшуватися від C_0 до C_k , а в адсорбенті збільшуватися від a_0 до a_k .

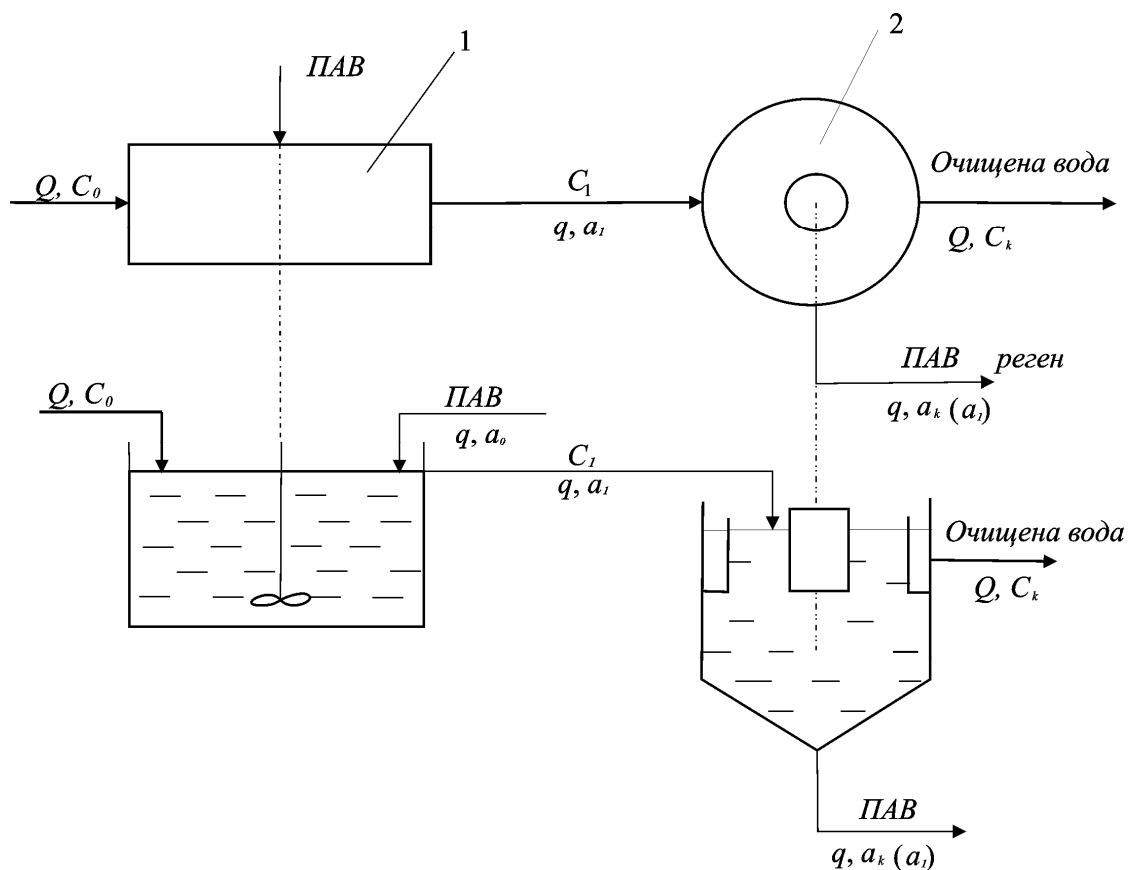


Рис. 3.1 – Схема одноступеневої прямоточної установки:
1 - апарат з перемішуванням; 2 – відстійник

За законом збереження маси зберігається баланс речовини. Рівняння матеріального балансу для процесу адсорбції з прямим рухом фаз:

$$Q \cdot C_0 + q \cdot a_0 = Q \cdot C_k + q \cdot a_k, \quad (3.1)$$

$$Q \cdot (C_0 - C_k) = q \cdot (a_k - a_0); \quad \frac{C_0 - C_k}{a_k - a_0} = \frac{q}{Q}. \quad (3.2)$$

На вході сорбент не містить забруднюючих речовин, що вилучаються із води, тому: $a_0 = 0$, $a_k = K \cdot C_k$. Таким чином, дозу активованого вугілля для одноступеневої прямої установи визначаємо за формулою

$$D = \frac{C_0 - C_k}{K \cdot C_k}, \text{ з/дм}^3, \quad (3.3)$$

$$D = \frac{200 - 7}{0.77 \cdot 7} = 35.8 \text{ з/дм}^3.$$

Визначення дози графічним способом. Для цього необхідно скористатися побудованою ізотермою і робочою лінією за вихідними даними (рис.3.2).

$$D = \frac{C_0 - C_k}{K \cdot C_k} = \text{ctg } \alpha = \frac{200 - 7}{5.39} = 35.8 \text{ з/дм}^3. \quad (3.4)$$

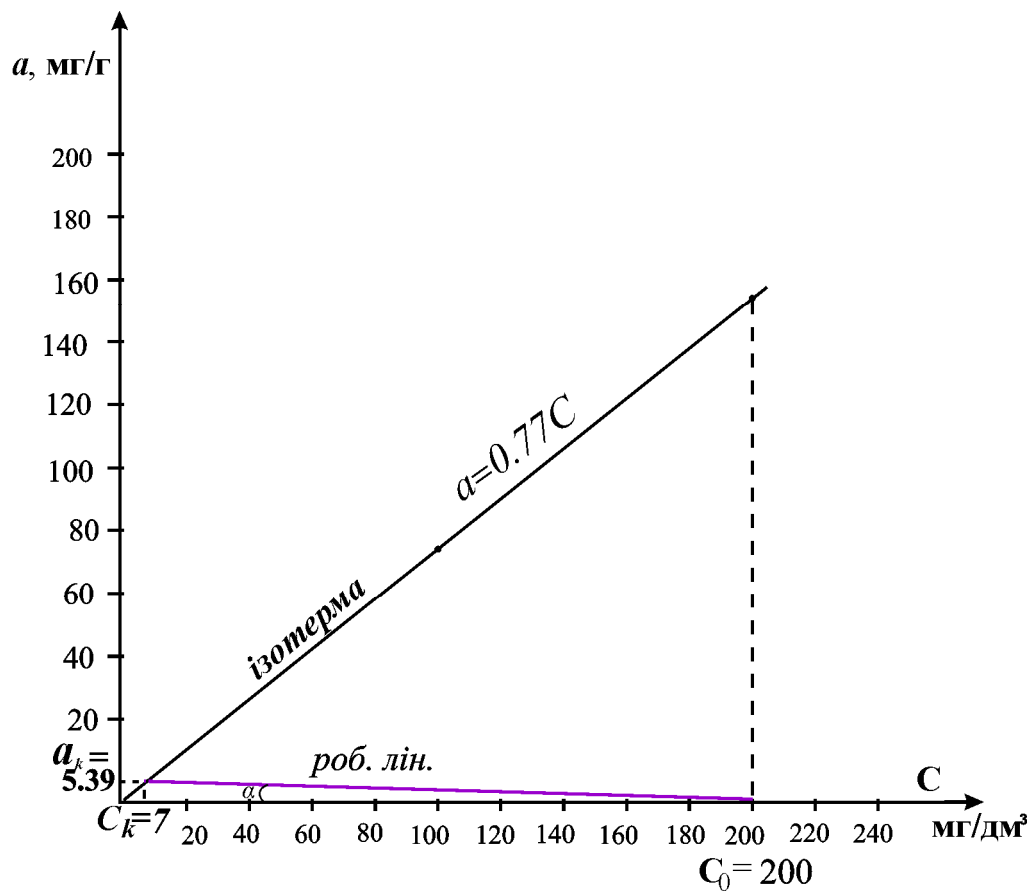


Рис. 3.2 –Ізотерма і робоча лінія одноступеневої установи з прямим рухом фаз

Істотним недоліком прямоточних схем очищення води є висока витрата сорбенту, величина якого залежить від залишкової рівноважної концентрації речовини у воді на виході з апарату, отже чим нижче припустима концентрація речовини в обробленій воді, тим менше величина питомої адсорбції і більше доза активованого вугілля.

4. Установа з перехресним рухом води і вугілля

У такій установці вода послідовно проходить через два ступеня очищення. На кожний ступінь подається чисте АВ в рівних кількостях. Міра насичення сорбенту на виході з першого і другого ступеня різна, тому що залежить від концентрації забруднюючій речовини у воді. На першому ступені подається вода з вихідною кількістю речовин. Вихідна вода з першого ступеня (після очищення) містить менше органічних забруднень у порівнянні з вихідною водою, що подається на другий ступінь, де контактує з чистим АВ і остаточно очищується. Адсорбент після кожного ступеня очищення відокремлюється від води у відстійнику, після чого відправляється на регенерацію. Адсорбційна ємність активованого вугілля найбільш повно використовується у першому (по руху води) адсорбері.

Двоступенева схема очищення

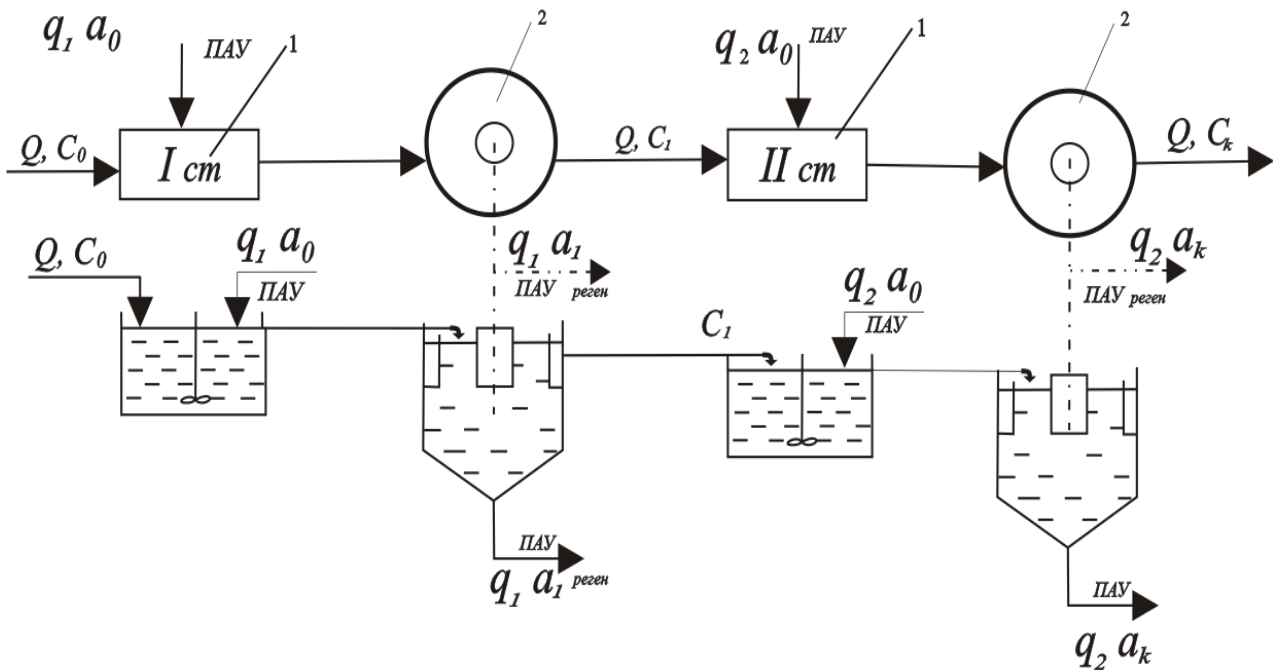


Рис. 4.1 – Схема двоступеневого очищення з перехресним рухом
активованого вугілля і води:

1 - апарат з перемішуванням; 2 - відстійник

Визначаємо дозу АВ, поданого на установку, вважаючи (умовно), що на кожний ступінь подаються однакові кількості активованого вугілля, тобто $q_1 = q_2$, кг/год:

$$D_1 = \frac{q_1}{Q}, \quad D_2 = \frac{q_2}{Q}, \quad (4.1)$$

$$D_1 = D_2 \quad (4.2)$$

Тоді загальна витрата вугілля буде $q = q_1 + q_2$, а загальна доза: $D = D_1 + D_2$.

Матеріальний баланс на кожному ступені:

1-й ступінь:

$$Q \cdot C_0 + q_1 \cdot a_0 = Q \cdot C_1 + q_1 \cdot a_1; \quad (4.3)$$

$$Q \cdot (C_0 - C_1) = q_1 \cdot a_1; \quad (4.4)$$

$$D_1 = \frac{q_1}{Q} = \frac{(C_0 - C_1)}{a_1} = \frac{(C_0 - C_1)}{K \cdot C_1}. \quad (4.5)$$

2-й ступень:

$$Q \cdot C_1 + q_2 \cdot a_0 = Q \cdot C_k + q_2 \cdot a_k; \quad (4.6)$$

$$Q \cdot (C_1 - C_k) = q_2 \cdot a_k; \quad (4.7)$$

$$D_2 = \frac{q_2}{Q} = \frac{(C_1 - C_k)}{a_k} = \frac{(C_1 - C_k)}{K \cdot C_k}, \quad (4.8)$$

$$D_1 = D_2$$

$$\frac{(C_0 - C_1)}{K \cdot C_1} = \frac{(C_1 - C_k)}{K \cdot C_k}; \quad (4.9)$$

$$(C_0 - C_1) \cdot K \cdot C_k = (C_1 - C_k) \cdot K \cdot C_1. \quad (4.10)$$

Розрахунок.

За формулі (4.9) і (4.10) визначаємо C_1 :

$$\frac{(C_0 - C_1)}{K \cdot C_1} = \frac{(C_1 - C_k)}{K \cdot C_k}; \quad (200 - C_1) \cdot 0.77 \cdot 7 = (C_1 - 7) \cdot 0.77 \cdot C_1,$$

$$(200 - C_1) \cdot 7 = C_1^2 - 7 \cdot C_1;$$

$$1400 - 7 \cdot C_1 = C_1^2 - 7 \cdot C_1;$$

$$C_1^2 = 1400; \quad C_1 = \sqrt{1400} = 37.41 \text{ мг/дм}^3.$$

$$D_1 = \frac{(200 - 37.41)}{0.77 \cdot 37.41} = 5.64 \text{ г/дм}^3; \quad D_2 = \frac{(37.41 - 7)}{0.77 \cdot 7} = 5.64 \text{ г/дм}^3.$$

$$D = D_1 + D_2 = 5.64 + 5.64 = 11.28 \text{ г/дм}^3.$$

Графічний спосіб. На рис. 4.2 зображена лінія рівноваги (ізотерма) і робочі лінії для двоступеневої установки з перехресним рухом активованого вугілля і води. Нахил робочих ліній визначається $\text{ctg} \alpha_1$ і $\text{ctg} \alpha_2$.

Дози вугілля, які подають на кожний ступінь очищення, рівні, тому:

$$D_1 = D_2, \quad D_1 = \frac{q_1}{Q}, \quad D_2 = \frac{q_2}{Q}, \quad D_1 = \text{ctg} \alpha_1, \quad D_2 = \text{ctg} \alpha_2.$$

$$D_1 = \operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{C_0 - C_1}{a_1} = \frac{200 - 37.41}{28.8} = 5.64 \text{ г/дм}^3;$$

$$D_2 = \operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{C_1 - C_k}{a_k} = \frac{37.41 - 7}{5.39} = 5.64 \text{ г/дм}^3.$$

Загальна доза: $D = D_1 + D_2 = 5.64 + 5.64 = 11.28 \text{ г/дм}^3$.

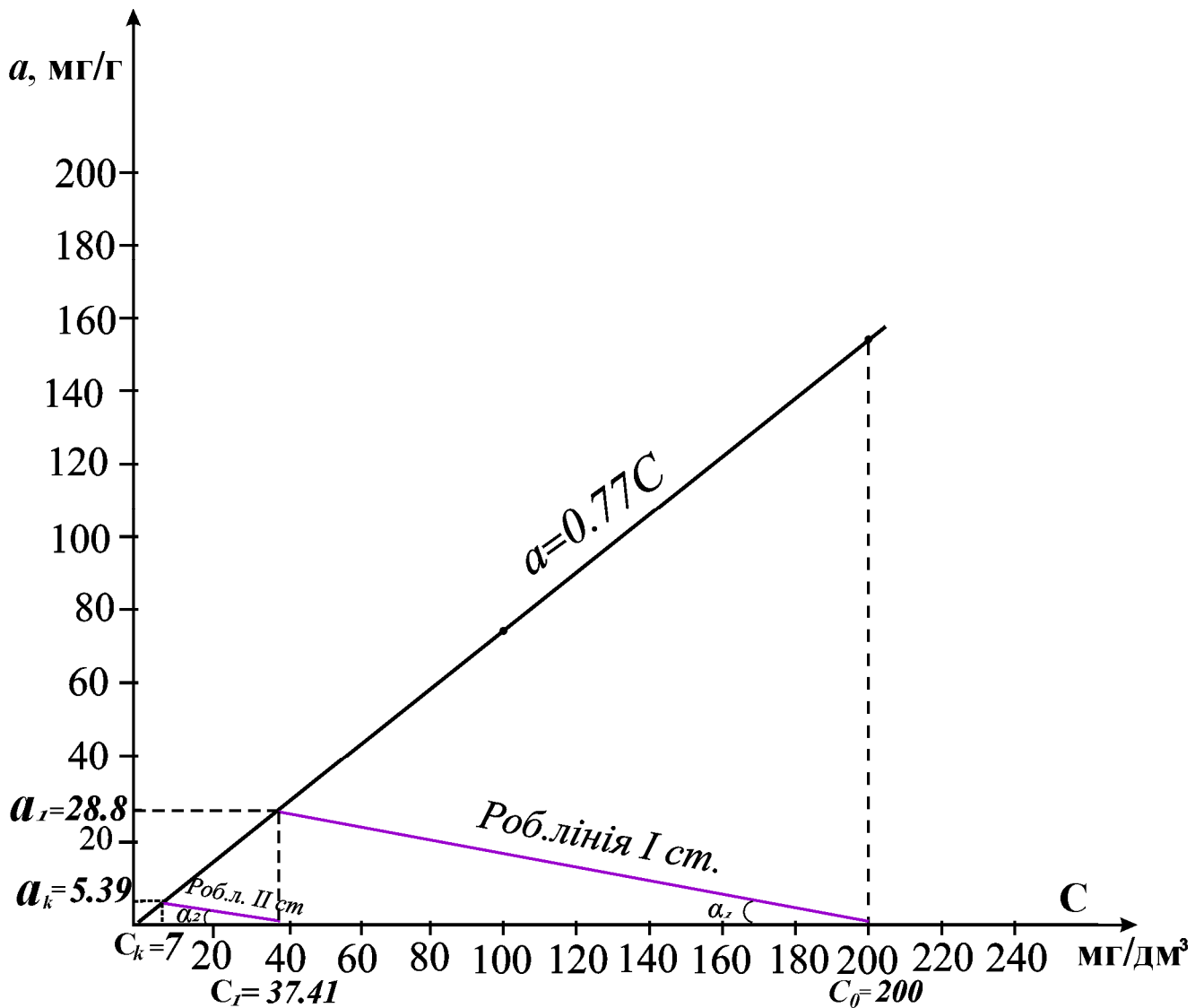


Рис. 4.2 – Ізотерма і робоча лінія для двоступеневої схеми очищення з перехресним рухом активованого вугілля і води

4.2. Треступенева схема очищення

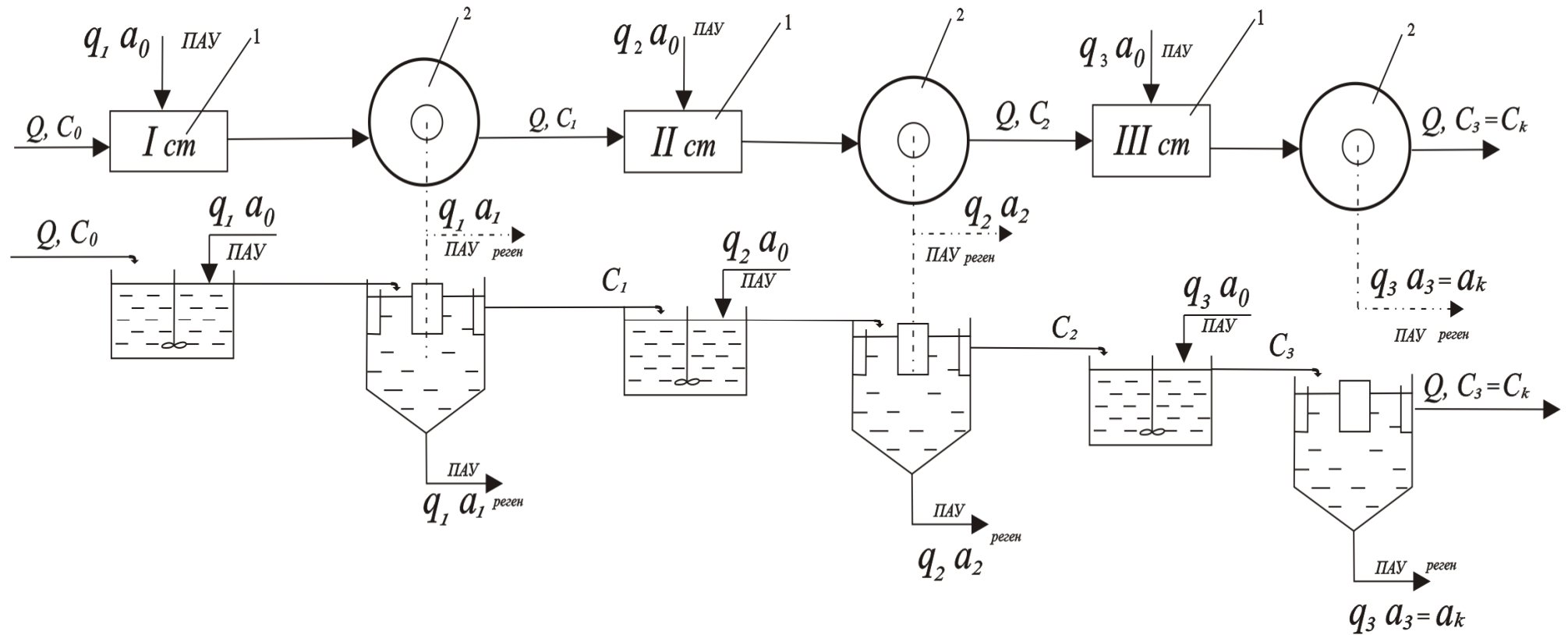


Рис. 4.3 – Схема треступеневого очищення з перехресним рухом активованого вугілля і води:

1 - апарат з перемішуванням; 2 - відстійник

Визначаємо дозу АВ з умов, що на кожний ступінь подається рівна кількість вугілля:

$$q_1 = q_2 = q_3; \quad (4.11)$$

$$D_1 = \frac{q_1}{Q}; \quad D_2 = \frac{q_2}{Q}; \quad D_3 = \frac{q_3}{Q};$$

$$D_1 = D_2 = D_3$$

Доза АВ, поданого на очищення, дорівнює:

$$D = D_1 + D_2 + D_3, \quad (4.12)$$

$$D_1 = \operatorname{ctg} \alpha_1, \quad D_2 = \operatorname{ctg} \alpha_2, \quad D_3 = \operatorname{ctg} \alpha_3.$$

Аналітичний спосіб визначення дози адсорбенту (АВ)

1 – й ступінь: $Q \cdot C_0 + q_1 \cdot a_0 = Q \cdot C_1 + q_1 \cdot a_1,$

$$Q \cdot (C_0 - C_1) = q_1 \cdot a_1,$$

$$D_1 = \frac{q_1}{Q} = \frac{(C_0 - C_1)}{a_1} = \frac{(C_0 - C_1)}{K \cdot C_1},$$

$$D_1 \cdot K \cdot C_1 = C_0 - C_1;$$

$$C_1 = \frac{C_0}{D_1 K + 1}. \quad (4.13)$$

2 – й ступінь: $Q \cdot C_1 + q_2 \cdot a_0 = Q \cdot C_2 + q_2 \cdot a_2,$

$$Q \cdot (C_1 - C_2) = q_2 \cdot a_2,$$

$$D_2 = \frac{q_2}{Q} = \frac{(C_1 - C_2)}{a_2} = \frac{(C_1 - C_2)}{K \cdot C_2},$$

$$D_2 \cdot K \cdot C_2 = C_1 - C_2;$$

$$C_2 = \frac{C_1}{D_2 K + 1} = \frac{C_0}{(D_1 \cdot K + 1)(D_2 \cdot K + 1)} = \frac{C_0}{(D_2 \cdot K + 1)^2}. \quad (4.14)$$

3 – й ступінь: $Q \cdot C_2 + q_3 \cdot a_0 = Q \cdot C_3 + q_3 \cdot a_3,$

$$Q \cdot (C_2 - C_3) = q_3 \cdot a_3,$$

$$D_3 = \frac{q_3}{Q} = \frac{(C_2 - C_3)}{a_3} = \frac{(C_2 - C_3)}{K \cdot C_3},$$

$$D_3 \cdot K \cdot C_3 = C_2 - C_3;$$

$$C_3(C_k) = \frac{C_2}{D_3 K + 1} = \frac{C_0}{(D_1 \cdot K + 1)(D_2 \cdot K + 1)(D_3 \cdot K + 1)} = \frac{C_0}{(D_i \cdot K + 1)^3}. \quad (4.15)$$

У загальному вигляді концентрація C_i для будь-якого i - го ступеня буде:

$$C_i = \frac{C_0}{(D_i \cdot K + 1)^i}, \quad (4.16)$$

$$C_k = \frac{C_0}{(D_i \cdot K + 1)^3}; \quad (D_i \cdot K + 1)^3 = \frac{C_0}{C_k}, \text{ звідки доза для однієї ступені:}$$

$$D_i = \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{C_0}{C_k}} - 1 \right)}{K}, \quad (4.17)$$

$$D_1 = D_2 = D_3 = \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{C_0}{C_k}} - 1 \right)}{K} = \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{200}{7}} - 1 \right)}{0.77} = 2.66 \text{ г/дм}^3.$$

Доза АВ, подаваного на очищення, у таких умовах дорівнює:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = 2.66 \cdot 3 = 7.98 \text{ г/дм}^3;$$

$$C_1 = \frac{C_0}{D_1 K + 1} = \frac{200}{2.66 \cdot 0.77 + 1} = 65.61 \text{ мг/дм}^3;$$

$$a_1 = K \cdot C_1 = 0.77 \cdot 65.61 = 50.52 \text{ мг/г};$$

$$C_2 = \frac{C_0}{(D_2 K + 1)^2} = \frac{200}{(2.66 \cdot 0.77 + 1)^2} = 21.52 \text{ мг/дм}^3.$$

$$a_2 = K \cdot C_2 = 0.77 \cdot 21.52 = 16.57 \text{ мг/г}.$$

Графічний спосіб визначення дози вугілля.

$D_1 = \text{ctg} \alpha_1$, $D_2 = \text{ctg} \alpha_2$, $D_3 = \text{ctg} \alpha_3$. Будуємо на графіку три робочі лінії з однаковим нахилом (рис. 4.4).

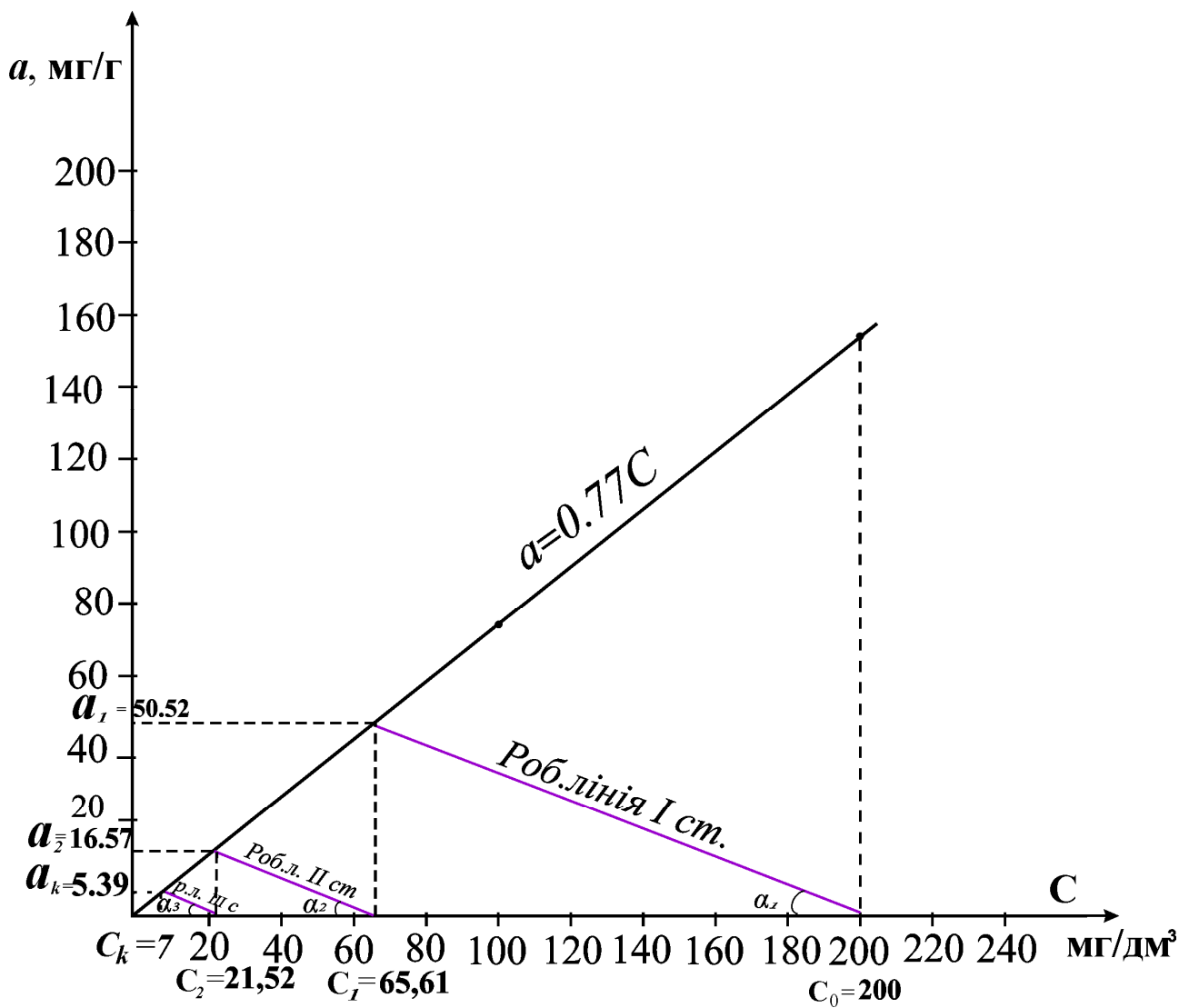


Рис. 4.4 – Ізотерма і робоча лінія для триступеневої схеми очищення з перехресним рухом активованого вугілля і води

$$D_1 = \operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{200 - 65.61}{50.52} = 2.66 \text{ з/дм}^3; D_2 = \operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{65.61 - 21.52}{16.57} = 2.66 \text{ з/дм}^3;$$

$$D_3 = \operatorname{ctg} \alpha_3 = \frac{21.52 - 7}{5.39} = 2.69 \text{ з/дм}^3;$$

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = 2.66 + 2.66 + 2.69 = 8.01 \text{ з/дм}^3.$$

5. Установа з рухом води і вугілля у протилежних напрямках

Сорбент, насичений речовиною до стану рівноваги в розчині з однією концентрацією, може поглинати ще деяку кількість речовини, якщо його помістити в більш концентрований розчин тієї ж речовини.

Принцип роботи установки полягає в тому, що свіже АВ подається в апарат з мішалкою на останній ступінь очищення. Туди ж надходить вода з відстійника передостаннього ступеня. Свіже АВ вступає у контакт з водою, що пройшла часткове очищення, і доочищає воду до потрібної концентрації (кінцевої). Потім АВ і очищена вода надходять у відстійник останнього ступеня, де відбувається розділення води і вугілля. АВ у вигляді концентрованої пульпи подається з відстійника останнього ступеня у апарат з мішалкою передостаннього ступеня, де так само поглинає забруднення у результаті контакту з водою. Відділення АВ від води здійснюється у відстійнику передостаннього ступеня, звідки прояснена вода надходить в апарати з мішалками кінцевої ступені, а АВ подається у апарат з мішалкою першого ступеня.

Таким чином, вода, що очищується, проходить послідовно всі ступені, а АВ рухається у зворотному напрямку (щодо руху води), досягаючи при виході з відстійника першого ступеня високого рівня насичення. Відпрацьоване АВ подається на регенерацію.

5.1 Двоступенева установка з рухом води і вугілля у протилежних напрямках

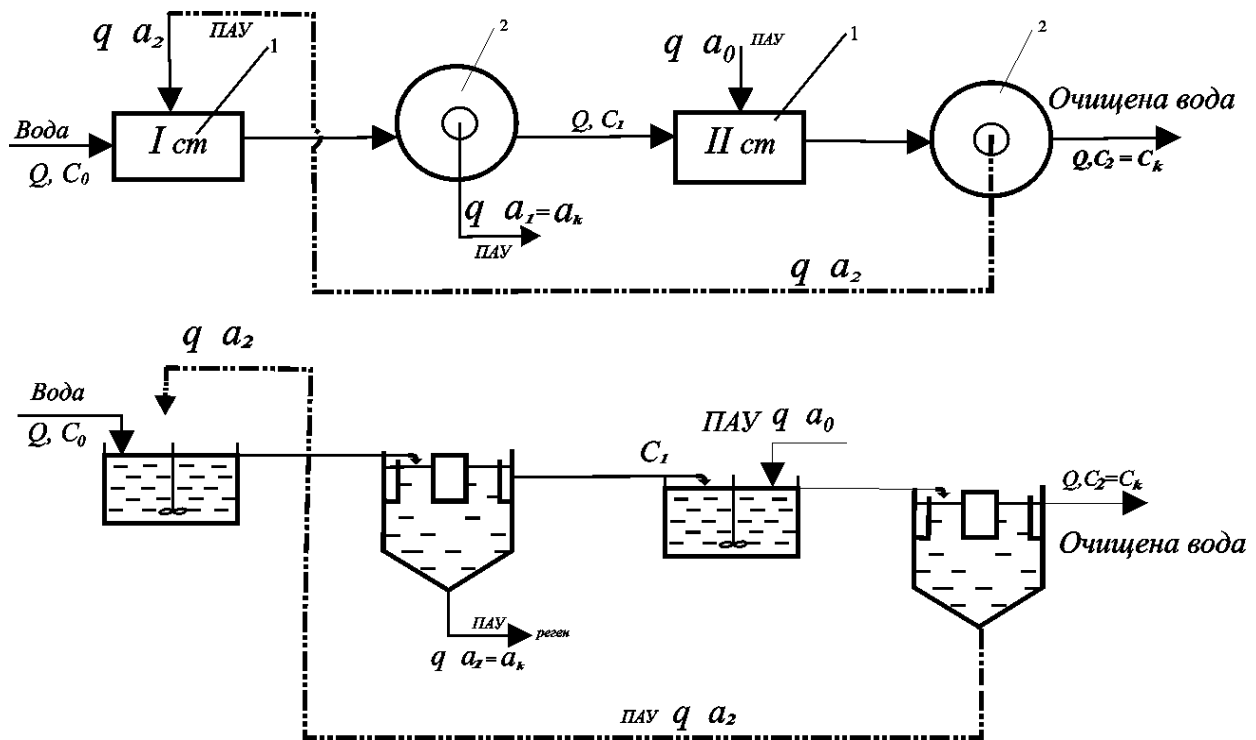


Рис. 5.1 – Схема очищення двоступеневої установки з рухом води і вугілля у протилежних напрямках.

1 - апарат з перемішуванням; 2 – відстійник

Визначення дози АВ графічно показано на рис. 5.2.

$$D_1 = \operatorname{ctg} \alpha_1; D_2 = \operatorname{ctg} \alpha_2; D = \operatorname{ctg} \alpha; \quad (5.1)$$

$$D_1 = \frac{q}{Q}; D_2 = \frac{q}{Q}; D = \frac{q}{Q}; \quad (5.2)$$

$$D_1 = D_2 = D. \quad (5.3)$$

Будують робочу лінію для всієї установки. Між робочою лінією та ізотермою вписують дві ступені. Починають з C_k і т.д.

На рис. 5.2 визначають $\operatorname{ctg} \alpha_1$; $\operatorname{ctg} \alpha_2$; $\operatorname{ctg} \alpha$:

$$D_1 = \operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{200 - 40.42}{31.12 - 5.39} = 6.2 \text{ г/дм}^3; \quad (5.4)$$

$$D_2 = \operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{40.42 - 7}{5.39} = 6.2 \text{ г/дм}^3; \quad (5.6)$$

$$D = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{200-7}{31.12} = 6.2 \text{ з/дм}^3. \quad (5.7)$$

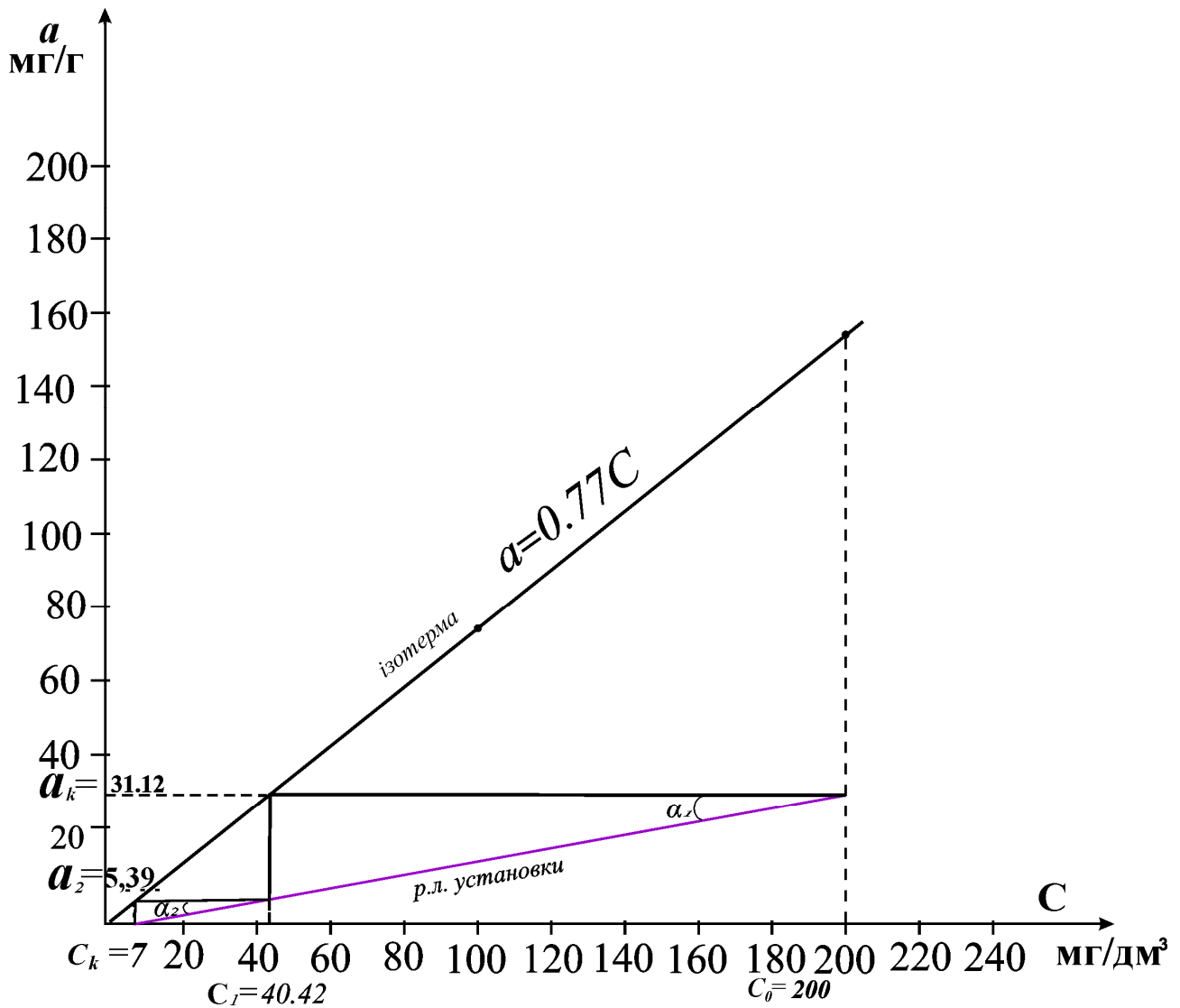


Рис. 5.2 – Ізотерма і робоча лінія для двоступеневої установки з рухом води і вугілля у протилежних напрямках

Визначення дози АВ розрахунковим способом (аналітично):

$$1 - \text{й ступінь: } Q \cdot C_0 + q \cdot a_2 = Q \cdot C_1 + q \cdot a_{l(k)},$$

$$Q \cdot (C_0 - C_1) = q (a_{l(k)} - a_2); \quad (5.8)$$

$$D_1 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_0 - C_1)}{(a_{l(k)} - a_2)}. \quad (5.9)$$

$$2 - \text{й ступінь: } Q \cdot C_1 + q \cdot a_0 = Q \cdot C_{2(k)} + q \cdot a_2,$$

$$Q \cdot (C_1 - C_2) = q \cdot a_2; \quad (5.10)$$

$$D_2 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_1 - C_{2(k)})}{a_2}. \quad (5.11)$$

Матеріальний баланс для всієї установки:

$$Q \cdot C_0 + q \cdot a_0 = Q \cdot C_{k(2)} + q \cdot a_{k(l)}; \quad (5.12)$$

$$Q \cdot (C_0 - C_{k(2)}) = q \cdot a_{k(l)}; \quad (5.13)$$

$$D = \frac{q}{Q} = \frac{(C_0 - C_k)}{a_k}. \quad (5.14)$$

Виходячи з рівності доз, прирівнюємо D всієї установки і D_2 другого ступеня:

$$\frac{(C_1 - C_2)}{a_2} = \frac{(C_0 - C_{2(k)})}{a_{l(k)}}, \quad (5.15)$$

$$a_2 = K \cdot C_k; \quad C_2 = C_k; \quad a_l = a_k = KC_l \text{ (див. рис. 5.1 і 5.2).}$$

$$\frac{(C_1 - C_k)}{K \cdot C_k} = \frac{(C_0 - C_k)}{K \cdot C_l}; \quad (5.16)$$

$$C_l \cdot (C_1 - C_k) = C_k \cdot (C_0 - C_k); \quad (5.17)$$

$$C_l \cdot (C_1 - 7) = 7 \cdot (200 - 7); \quad (5.18)$$

$$D = b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 7^2 + 1351 \cdot 4 = 5453; \quad (5.19)$$

$$C_l = \frac{7 + \sqrt{5453}}{2} = \frac{7 + 73.84}{2} = 40.42 \text{ мг/дм}^3; \quad (5.20)$$

$$a_{l(k)} = K \cdot C_l = 0.77 \cdot 40.42 = 31.12 \text{ мг/л}; \quad (5.21)$$

$$D_1 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_0 - C_l)}{(a_l - a_2)} = \frac{200 - 40.42}{31.12 - 5.39} = 6.2 \text{ л/дм}^3; \quad (5.22)$$

$$D_2 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_1 - C_2)}{a_2} = \frac{40.42 - 7}{5.39} = 6.2 \text{ л/дм}^3; \quad (5.23)$$

$$D = \frac{q}{Q} = \frac{(C_0 - C_k)}{a_k} = \frac{200 - 7}{31.12} = 6.2 \text{ л/дм}^3. \quad (5.24)$$

5.2 Треступенева схема очищення

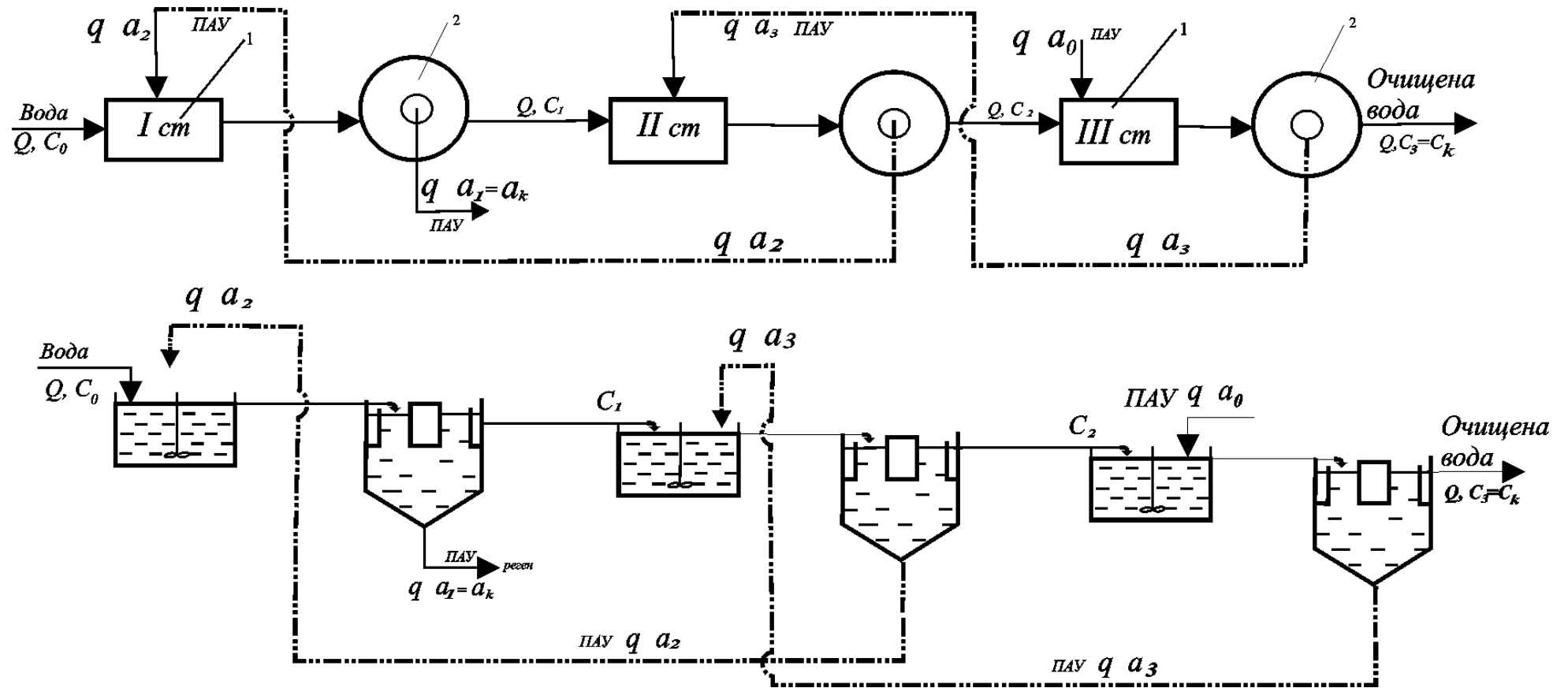


Рис. 5.3 – Схема треступеневої установки очищення з рухом води і вугілля у протилежних напрямках

Визначаємо дозу розрахунковим способом:

$$1 - \text{й ступінь: } Q \cdot C_0 + q \cdot a_2 = Q \cdot C_1 + q \cdot a_1,$$

$$Q \cdot (C_0 - C_1) = q \cdot (a_1 - a_2),$$

$$D_1 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_0 - C_1)}{(a_1 - a_2)}; \quad (5.25)$$

$$2 - \text{й ступінь: } Q \cdot C_1 + q \cdot a_3 = Q \cdot C_2 + q \cdot a_2,$$

$$Q \cdot (C_1 - C_2) = q \cdot (a_2 - a_3),$$

$$D_2 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_1 - C_2)}{a_2 - a_3}. \quad (5.26)$$

$$3 - \text{й ступінь: } Q \cdot C_2 + q \cdot a_0 = Q \cdot C_3 + q \cdot a_3,$$

$$Q \cdot (C_2 - C_3) = q \cdot (a_3 - a_0),$$

$$D_2 = \frac{q}{Q} = \frac{(C_2 - C_3)}{a_3}. \quad (5.27)$$

Матеріальний баланс для всієї установки:

$$Q \cdot C_0 + q \cdot a_0 = Q \cdot C_{k(3)} + q \cdot a_{k(1)}; \quad (5.28)$$

$$Q \cdot (C_0 - C_{k(3)}) = q \cdot a_{k(1)}, D = \frac{q}{Q} = \frac{(C_0 - C_{3(k)})}{a_{1(k)}}. \quad (5.29)$$

$$\text{Доза для } i - \text{го ступеня: } D_i = \frac{q}{Q} = \frac{(C_{i-1} - C_i)}{a_i - a_{i+1}}; \quad (5.30)$$

$$\text{Для останнього ступеня: } D_{\text{посл}} = \frac{(C_{i-1} - C_i)}{a_i} \quad (5.31)$$

Визначення дози графічно. На рис. 5.4 визначаємо $C_1 = 71,5 \text{ мг/дм}^3$,

$a_1 = 55 \text{ мг/г}$; $C_2 = 25,8 \text{ мг/дм}^3$; $a_2 = 19,86 \text{ мг/м}$.

$$\text{Доза всієї установки: } D = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{C_0 - C_k}{a_1} = \frac{200 - 7}{55} = 3,5 \text{ г/дм}^3.$$

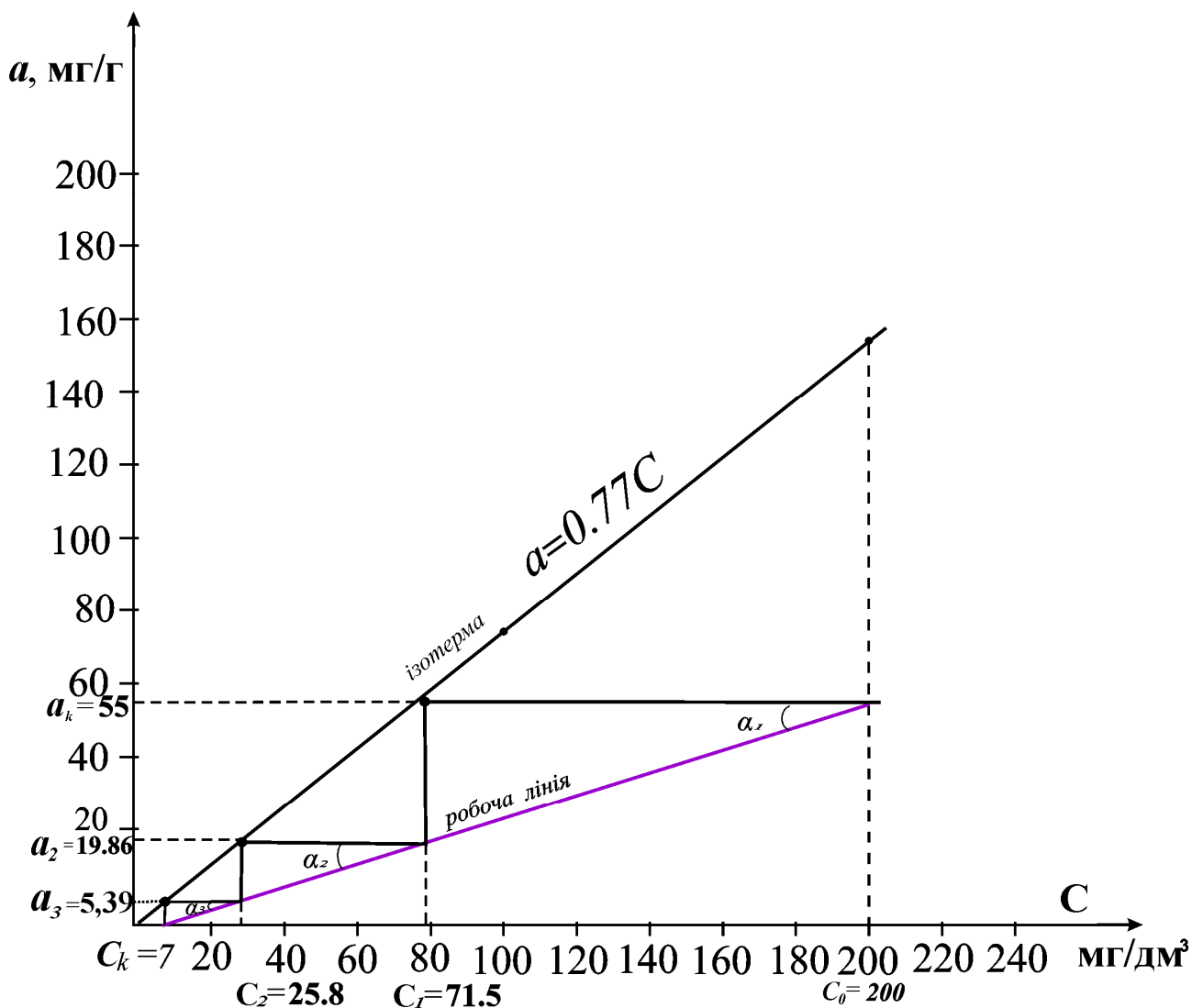


Рис. 5.4 – Ізотерма і робоча лінія для триступеневої установки очищення води з рухом води і вугілля у протилежних напрямках

6. Порівняння дози АВ для різних установок

Таблиця 1

N п/п	Тип установки	Доза активованого вугілля, г/дм ³							
		Визначення графічним способом				Визначення розрахунковим способом			
		<i>D</i>	<i>D₁</i>	<i>D₂</i>	<i>D₃</i>	<i>D</i>	<i>D₁</i>	<i>D₂</i>	<i>D₃</i>
1.	Прямоточна одноступінчаста	35,8	-	-	-	35,8	-	-	-
2.	Перехресна								
2.1	двоступенева	11,28	5,64	5,64	-	11,2	5,64	5,64	-
2.2	триступенева	8,01	2,66	2,66	2,69	8 7,98	2,66	2,66	2,66
3.	Протиточна								
3.1	двоступенева	6,2	6,2	6,2	-	6,2	6,2	6,2	-
3.2	триступенева	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-

Порівняти дози АВ для всіх установок і зробити висновок. При якому типі установки найменша витрата вугілля?

Висновок: найменша витрата вугілля на триступеневій установці з рухом води і вугілля у протилежних напрямках.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНОСУ

Аналіз процесу масопереносу, його складові. Рівновага між фазами в гетерогенних системах. Основне рівняння переносу речовини.

Диференційне рівняння переносу речовини в рідині (закон Фіка). Кінетичні коефіцієнти. Матеріальний баланс. Загальні підходи до аналізу процесів переносу. Послідовність складання балансових співвідношень. Накопичення субстанції. Основні складові рівняння матеріального балансу.

Питання для самоперевірки

1. В яких трьох напрямках необхідно аналізувати процес переносу речовини у двофазній системі.
2. Що показують рівноважні діаграми, як вони використовуються.
3. Чим відрізняється коефіцієнт дифузії від коефіцієнта масовіддачі ?
4. Що враховує рівняння матеріального балансу ?
5. Сутність методу складання балансових співвідношень.
6. Скільки величин зв'язує рівняння матеріального балансу?
7. Роль просторового контуру при складанні балансових співвідношень.
8. Навести і проаналізувати основне балансове співвідношення.

ТЕМА 2. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ

Основне рівняння матеріального балансу. Матеріальний баланс адсорбційних апаратів. Поняття середньої рухомої сили процесу адсорбції, числа одиниць переносу (ЧОП), висоти одиниці переносу. Графічний спосіб визначення ЧОП. Робоча лінія. Побудова робочих ліній для різного типу адсорбційних установок. Поняття теоретичного і реального ступеня. Ефективність ступеня за Мерфрі. Поняття псевдорівновагової кривої, її застосування.

Поняття структурно-конфігураційного комплексу (СКК). Класифікація за типом СКК. Типи фаз: ідеальне витиснення (ІВ), ідеальне перемішування (ІП), інші режими. Вплив типів ІВ і ІП на положення робочої лінії.

Адсорбція на твердих адсорбентах з розчинів. Вплив структури адсорбенту на швидкість адсорбції різних речовин. Класифікація активованого вугілля. Умови застосування. Технологічні властивості. Порівняння різних марок активованого вугілля. Регенерація АВ. Невуглецеві сорбенти - цеоліти (природні, синтетичні). Антрацити.

Питання для самоперевірки

1. Аналіз рівняння матеріального балансу, його основні складові.
2. Порівняти ЧОП і ВОП, для чого і де вони використовуються.
3. Положення робочих ліній для протиточної сорбційної установки і установки з перехресним потоком фаз, чим воно обумовлено?
4. Чому використовують два поняття: реальна і теоретична ступень у технологічних розрахунках. Для чого використовується ефективність ступені по Мерфрі.
5. Вибір типу адсорбенту за ізотермою адсорбції.
6. Охарактеризуйте способи регенерації активованого вугілля.
7. Структура і властивості цеоліту.

ТЕМА 3. МІЖФАЗОВІ РІВНОВАГИ. ІСНУЮЧІ ТЕОРІЇ АДСОРБЦІЙНОЇ РІВНОВАГИ

Теоретичні дослідження у галузі адсорбційної рівноваги. Застосування теорії об'ємного заповнення мікропор (ТОЗМ) для опису і розрахунку ізотерм. Гранична величина адсорбції. Вагові й об'ємні методи виміру адсорбції. Термодинамічна теорія адсорбції Гіббса. Аналіз рівняння Гіббса. Мономолекулярна теорія адсорбції Ленгмюра. Аналіз рівняння. Полімолекулярна адсорбція. Ізотерми адсорбції за Брунауером. Теорія БЕТ, Полянї. Осмотична теорія адсорбції (ОТА) - рівняння Кісарова. Побудова ізотерми адсорбції, типи ізотерм. Фактори ізотерми, що впливають на її вид.

Питання для самоперевірки

1. Аналіз основного рівняння ТОЗМ.
2. Порівняти теорію БЕТ, ОТА і ТОЗМ.
3. Проаналізувати ізотерму Ленгмюра, її параметри.
4. Як побудувати ізотерму адсорбції ?
5. Проаналізувати ізотерми Кісарова, Фрейдліха, Дубініна-Радущкевича. У чому їхня принципова відмінність?

ТЕМА 4. ПРОЦЕС АДСОРБЦІЇ В АПАРАТАХ З НЕРУХОМИМ ЩІЛЬНИМ ШАРОМ

Моделювання процесу адсорбції в динамічних умовах. Вплив кінетики на процес адсорбції. Вплив внутрішньої і зовнішньої дифузії на масоперенос при адсорбції. Вивчення механізму кінетики. Поняття сорбційного фронту. Закон Вікке. Вплив виду ізотерми на форму сорбційного фронту.

Паралельний перенос. Умови паралельного переносу сорбційного фронту. Швидкість руху стаціонарного фронту. Довжина зони масопередачі. Умови утворення цієї зони.

Питання для самоперевірки

1. Вплив внутрішньої і зовнішньої дифузії на процес адсорбції в апараті з нерухомим щільним шаром.
2. Проаналізувати форму сорбційного фронту при опуклій і увігнутій ізотермах. Дати пояснення. При яких умовах відбувається стиск і розтягання сорбційного фронту.
3. Поясніть за допомогою закону Вікке теорію паралельного переносу сорбційного фронту.
4. Умови формування сорбційного фронту.
5. Проаналізувати параметри рівняння матеріального балансу, складеного для робочої зони апарата із щільним шаром.

ТЕМА 5. РОЗРАХУНОК АДСОРБЦІЙНИХ АПАРАТІВ З НЕРУХОМИМ ШАРОМ

Рівняння матеріального балансу робочої зони. Основне рівняння динаміки сорбції - рівняння Шилова, його аналіз. Поняття середнього ступеня насичення робочої зони і вплив її на визначення періоду роботи фільтруючого шару. Кінетична крива. Фактори, що впливають на цю криву. Визначення робочої динамічної ємності завантаженого адсорбенту.

Характеристика адсорберів. Вертикальні адсорбери. Горизонтальні адсорбери. Адсорбери із шаром, що рухається, поглинача. Шляхи інтенсифікації сорбційних процесів.

Питання для самоперевірки

1. Аналіз параметрів рівняння Шилова. Значення рівняння Шилова для розрахунку адсорбційних апаратів з нерухомим щільним шаром.
2. Графічна інтерпретація рівняння Шилова. Що можна визначити за допомогою графічної інтерпретації рівняння Шилова.
3. Що позначають $\Delta\tau$, τ_m , τ_{np} , τ_0 . Як вони співвідносяться?

4. Аналіз робочої зони, її основні характеристики. Що позначає l_o , для чого її необхідно визначати?
5. Як співвідносяться між собою коефіцієнт захисної дії шару і швидкість сорбційного фронту?
6. Порівняти час масопередачі й час формування сорбційного фронту.
7. Порівняти динамічну, статичну і робочу ємкості адсорбенту. Що позначає кожна з них?
9. Проаналізувати параметри рівняння матеріального балансу, складеного для робочої зони апарата зі щільним шаром.

ТЕМА 6. ПРОЦЕС АДСОРБЦІЇ В АПАРАТАХ З ПСЕВДОРОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ

Характеристика псевдорозрідженого шару (ПОШ). Розширення шару при псевдорозрідженні. Порозність при псевдорозрідженні. Відносне розширення псевдорозрідженого шару. Критична швидкість псевдорозрідження. Структура ПОШ у газовому і водному потоках. Визначення часу роботи апарата з ПОШ. Секційні апарати з псевдорозрідженим шаром. Адсорбційні установки безперервної дії з ПОШ адсорбенту. Розрахунок апарату з ПОШ.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризувати механізм псевдорозрідження, за рахунок чого він досягається?
2. Як змінюються порозність і щільність шару при псевдорозрідженні.
3. Що являє собою відносне розширення псевдорозрідженого шару.
4. Охарактеризувати ширину і висоту робочої зони псевдорозрідженого шару.
5. Порівняйте роботу апарата із щільним і псевдорозрідженим шаром. Що загального і в чому розбіжності ?
6. Достоїнства і недоліки апаратів із псевдорозрідженим шаром.

7. Для чого розбивають апарат на секції ?Що цим досягається?
8. Як взаємозалежна висота робочої зони і час захисної дії апарата з ПОШ?

ТЕМА 7. ЕКСТРАКЦІЯ

Рідинна екстракція. Теоретичні основи процесу. Закони розподілу. Поняття рафінаду, маточника, екстрагента, екстракту. Очищення стічних вод екстракцією. Вимоги, пропоновані до екстрагенту. Характеристика системи рідина-рідина. Основні конструкції екстракційних апаратів. Класифікація екстракційних апаратів: за принципом взаємодії контактуючих фаз, за розташуванням апарата (вертикальні, горизонтальні).

Основні схеми екстракції. Одноразова (одноступенева) екстракція. Порційна екстракція. Схема безперервної екстракції. Роторно-дисковий екстрактор. Пульсаційні колони з насадковими і сітчастими тарілками. Випадки, коли вони застосовуються. Колони з вібруючими тарілками. Відцентровий екстрактор. Екстрактори зі східчастим контактом фаз: секційні колони.

Питання для самоперевірки

1. Порівняти розподіл сумішей методами екстракції і ректифікації.
2. Охарактеризувати процес екстракції з погляду взаємодіючих фаз.
3. Охарактеризувати технологічну схему екстракції по стадіях (змішання, розподіл, виділення цільових компонентів з екстракту).
4. Охарактеризувати порційну (перехресну) екстракцію.
5. Порівняти порційну і безперервну екстракції.
6. Дати визначення екстрагенту, екстракту, рафінаду.
7. Порівняти горизонтальні і вертикальні екстрактори.
8. Охарактеризувати роботу екстрактора з безперервним контактом фаз.

9. Порівняти роботу екстракційної колони з насадковими і з сітчастими тарілками.

ТЕМА 8. МЕМБРАННІ ПРОЦЕСИ РОЗДІЛУ

Основні механізми переносу речовини через мембрани. Поняття мембрани. Напівпроникливі, проникливі мембрани. Схема мембранного осередку, її склад. Класифікація мембран: за природою, структурою, галуззю застосування. Основні механізми переносу речовини через мембрани. Кнудсенова дифузія. Рівняння масопередачі. Коефіцієнт проникливості. Стаціонарний перенос компонента через непористу і пористу мембрану. Селективність мембран. Відношення коефіцієнтів проникливості пари компонентів суміші.

Питання для самоперевірки

1. Проаналізувати процес мембранного розділу на прикладі опріснення води.
2. Проаналізувати схему мембранного осередку.
3. Охарактеризувати механізм переносу речовини через пористі мембрани.
4. Проаналізувати рівняння масопередачі при переносі речовини через мембрану.
5. Аналіз відношення коефіцієнтів проникливості пари компонентів. До чого воно повинно прагнути і чому ?
6. Що означає термін кнудсенова дифузія.

ТЕМА 9. ОСМОС

Фізика процесу. Зворотний осмос. Сутність методу. Осмотичний тиск. Надлишковий (робочий) тиск. Гіпотези, що пояснюють процес зворотного осмосу. Ситова гіпотеза. Енергетична гіпотеза. Капілярно-фільтраційна гіпотеза.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризувати процес осмосу. Ким було відкрите явище?
2. Сутність процесу зворотного осмосу.
3. Дати оцінку гіпотезам, що пояснюють процес зворотного осмосу.

Завдання на РГР

Вихідні дані	Номер варіанта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C_0	195	254	187	210	198	236	220	215	230
C_K	7	7	5	7	6	6	7	7	6
K	0,75	0,65	0,6	0,55	0,75	0,75	0,6	0,66	0,55

Вихідні дані	Номер варіанта								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
C_0	185	197	213	240	205	180	236	193	218
C_K	6	5	7	7	6	7	8	7	6
K	0,75	0,65	0,6	0,55	0,75	0,66	0,6	0,75	0,56

Вихідні дані	Номер варіанта								
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
C_0	214	237	224	212	241	256	300	298	255
C_K	6	5	7	7	6	7	7	7	6
K	0,72	0,63	0,75	0,55	0,75	0,66	0,6	0,7	0,68

Вихідні дані	Номер варіанта								
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
C_0	295	293	290	300	213	247	226	231	233
C_K	6	5	7	5	7	6	7	7	8
K	0,72	0,77	0,75	0,65	0,75	0,66	0,6	0,7	0,68

Вихідні дані	Номер варіанта								
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
C_0	271	244	266	216	284	196	193	247	238
C_K	6	5	7	7	6	7	7	7	6
K	0,77	0,56	0,75	0,55	0,75	0,66	0,65	0,7	0,68

Вихідні дані	Номер варіанта								
	46	47	48	49	50	51	52	53	54
C_0	237	241	275	282	262	206	263	209	213
C_K	6	5	7	7	6	7	7	7	6
K	0,68	0,7	0,66	0,58	0,75	0,65	0,66	0,7	0,68

Вихідні дані	Номер варіанта								
	55	56	57	58	59	60	61	62	63
C_0	281	279	225	273	248	235	265	278	219
C_k	6	5	7	7	6	7	7	7	6
K	0,7	0,63	0,75	0,55	0,75	0,66	0,6	0,7	0,68

Вихідні дані	Номер варіанта								
	64	65	66	67	68	69	70	71	72
C_0	285	280	263	281	259	274	262	276	228
C_k	6	7	7	7	6	7	7	6	6
K	0,55	0,68	0,70	0,6	0,8	0,75	0,66	0,75	0,55

Завдання на контрольну роботу

Додаток Б

Номери тем	Номери варіантів																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-
2	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+
3	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-
4	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
5	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+
6	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
7	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
8	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
9	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Айштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В. и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии Т.1 -М. : Высш. шк., 2002.- 887с.
2. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой) / П.Г. Романков, В. Ф. Фролов. - Л.: Химия, 1990. - 384 С.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.– 752 с.
4. Корольков Н.М. Массообменные процессы химической технологии. Жидкостная сорбция. Рига: Лиесма, 1970. – 247с.
5. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и пара. Изд. 2–е переработ.: Уч. пособие – М.:Высш. шк., 1969. – 416с.
6. Кельцев Н.А. Промышленная адсорбция газов и паров. – М.: Химия, 1976. – 511с.
7. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. – К.: Наук. думка, 1983. – 240 с.

ЗМІСТ

	стор.
Загальні вказівки.....	3
Розрахунково-графічна робота.....	4
1 Побудова лінії рівноваги.....	4
2. Принципові схеми взаємодії води і адсорбенту.....	5
2.1 2.1 Принципова схема прямої одноступеневої установки	6
2.2 Принципова схема двоступеневої установки з перехресним рухом фа.....	6
2.3 Принципова схема двоступеневої установки з рухом води і вугілля у протилежних напрямках	7
3 Визначення дози АВ для сорбційних установок з прямим рухом вугілля і води.....	8
4 Установка з перехресним рухом води і вугілля.....	10
4.1 Двоступенева схема очищення.....	11
4.2 Триступенева схема очищення.....	14
5 Установка з рухом води і вугілля у протилежних напрямках...	18
5.1 Двоступенева установка з рухом води і вугілля у протилежних напрямах... ..	19
5.2 Триступенева схема очищення	22
6 Порівняння дози АВ для різних установок.....	25
Питання для самостійного вивчення.....	26
Додаток А.....	34
Додаток Б.....	36
Рекомендована література.....	37

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки самостійного вивчення дисципліни «Масопередача» та виконання розрахунково-графічної роботи (для студентів 3-4 курсів денної і заочної форм навчання освітньо – кваліфікаційного рівня бакалавр, напрямів підготовки 0926 “Водні ресурси”, 6.060103 “Гідротехніка (Водні ресурси)” спеціальності 6.092600 “Водопостачання та водовідведення”).

Укладачі: В'ячеслав Олександрович Ткачов,
Ірина Миколаївна Чуб

Редактор: М. З. Аляб'єв

План 2009, поз. **159 М**

Підп. до друку 05.05.2009
Друк на ризографі.
Замовл. №

Формат 60x84 1/16
Умов.- друк. арк. **1,7**
Тираж 50 прим.

Папір офісний
Облік.-вид. арк. **2,0**

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12
Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ